
IDENTIFIKASI KETIDAKBERATURAN STRUKTUR DAN KONTROL STABILITAS GEDUNG SEKOLAH KATEGORI RISIKO IV BERDASARKAN SNI 1726:2019**Oleh****Wahyu Mahendra Trias Atmadja¹, Hence Michael Wuaten², Hendrika Tharob³****^{1,2,3}Program Studi Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Samarinda****Email: ¹w.m.triasatmadja@gmail.com**

Article History:

Received: 05-05-2026

Revised: 22-05-2026

Accepted: 08-06-2026

Keywords:

Structural

Irregularity;

Torsional

Irregularity; P-Delta;

Inter-Story Drift;

Response Spectrum

Abstract: *Structural irregularities are a primary cause of seismic damage, making their identification essential for buildings classified as Risk Category IV. This study identifies the horizontal and vertical irregularities and evaluates the stability of the four-story reinforced concrete building of SMA Negeri 14 Samarinda (Special Moment Resisting Frame, $f_c' = 25$ MPa, site class SD). A three-dimensional model was analyzed in ETABS v.20 using response-spectrum analysis following SNI 1726:2019; modal mass participation, torsional irregularity, diaphragm discontinuity, soft story, mass irregularity, the P-Delta stability coefficient, and inter-story drift were evaluated. The results reveal a type 1a torsional irregularity at the first story in both directions (ratio 1.246 in X and 1.215 in Y) and a mass irregularity at the third and fourth stories, requiring dynamic rather than equivalent-static analysis. Conversely, the structure is free of diaphragm discontinuity, soft story, and vertical geometric irregularity. The P-Delta stability coefficient remained below the maximum at all stories, and inter-story drift stayed within the $0.01 \cdot h_{sx}$ limit. The findings show the building remains stable despite the detected irregularities, and underline the importance of irregularity screening in performance-oriented evaluation of educational facilities.*

PENDAHULUAN

Indonesia berada pada pertemuan tiga lempeng tektonik utama sehingga memiliki tingkat kegempaan tinggi. Pengamatan terhadap kerusakan bangunan pascagempa menunjukkan bahwa konfigurasi struktur yang tidak beraturan—baik secara horizontal maupun vertikal—kerap menjadi pemicu kerusakan, karena distribusi kekakuan dan massa yang tidak merata membuat struktur tidak bekerja sebagai satu kesatuan yang solid. Oleh sebab itu, SNI 1726:2019 mewajibkan identifikasi ketidakberaturan struktur sebagai bagian dari perencanaan dan evaluasi ketahanan gempa.

Gedung sekolah merupakan fasilitas publik berfungsi penting dan tergolong Kategori Risiko IV menurut SNI 1726:2019, dengan faktor keutamaan gempa $I_e = 1,5$. Tuntutan kinerjanya lebih tinggi daripada hunian biasa, sehingga konfigurasi strukturnya perlu ditapis terhadap ketidakberaturan sebelum dinyatakan layak. Ketidakberaturan horizontal mencakup antara lain torsi, sudut dalam, diskontinuitas diafragma, dan sistem nonparalel;

ketidakberaturan vertikal mencakup soft story, ketidakberaturan massa, geometri vertikal, dan diskontinuitas kekuatan lateral.

Keberadaan ketidakberaturan berimplikasi pada pemilihan metode analisis. Bila struktur memiliki ketidakberaturan tertentu, SNI 1726:2019 (Tabel 16) tidak mengizinkan analisis gaya lateral ekuivalen tunggal dan mensyaratkan prosedur dinamik seperti respons spektrum atau riwayat waktu. Studi pada bangunan tidak beraturan menunjukkan bahwa metode dinamik memberikan gambaran distribusi gaya yang lebih realistis dibanding statik ekuivalen (Simbolon dkk., 2023). Selain identifikasi ketidakberaturan, stabilitas struktur juga perlu dikontrol melalui efek P-Delta dan simpangan antar tingkat, yang keduanya bergantung pada kekakuan lateral dan konfigurasi bangunan.

Sebagian besar kajian ketidakberaturan struktur menyoal bangunan tinggi, perkantoran, atau model hipotetis (Simbolon dkk., 2023; Sudarsana dkk., 2023), sedangkan evaluasi konfigurasi gedung sekolah eksisting di Kalimantan Timur—wilayah yang keandalan struktur publiknya makin penting seiring pembangunan Ibu Kota Nusantara—masih jarang. Inilah celah ilmiah penelitian ini.

Tujuan penelitian adalah mengidentifikasi ketidakberaturan horizontal dan vertikal serta mengontrol stabilitas (P-Delta dan simpangan antar tingkat) Gedung SMA Negeri 14 Samarinda berdasarkan SNI 1726:2019, dan menetapkan implikasinya terhadap metode analisis yang diperlukan. Inovasi penelitian terletak pada penyajian penapisan ketidakberaturan secara menyeluruh pada gedung pendidikan Kategori Risiko IV di Samarinda sebagai acuan regional.

METODE

Lokasi dan profil wilayah kajian

Objek penelitian adalah Gedung SMA Negeri 14 Samarinda di Jalan Rapak Indah, Kelurahan Karang Asam Ilir, Kecamatan Sungai Kunjang, Kota Samarinda, Kalimantan Timur, pada koordinat $-0,50176; 117,10183$. Lokasi dipilih karena merupakan fasilitas pendidikan Kategori Risiko IV, berada di kawasan yang berkembang seiring pembangunan IKN, dan berdiri di atas tanah sedang (kelas situs SD).

Desain dan tahapan penelitian

Penelitian bersifat kuantitatif berbasis pemodelan numerik dengan tahapan: pengumpulan data, pemodelan struktur 3D, pembebanan, analisis respons spektrum, pengecekan partisipasi massa ragam, identifikasi ketidakberaturan horizontal dan vertikal, kontrol P-Delta, dan evaluasi simpangan antar tingkat. Sampel ditetapkan secara *purposive*, yaitu struktur atas bangunan.

Data dan pengumpulan data

Data primer berupa dokumentasi dan pengukuran dimensi di lapangan; data sekunder berupa standar (SNI 1726:2019, SNI 1727:2020, SNI 2847:2019) dan parameter gempa dari laman *Desain Spektra Indonesia* (rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021). Pengambilan data lapangan dilaksanakan April–Juli 2025. Data bangunan: 4 lantai, tinggi total 13,5 m, SRPMK beton bertulang $f_c' = 25$ MPa, tulangan utama BJTS 420, sengkang BJTP 280, kelas situs SD, Kategori Risiko IV ($I_e = 1,5$).

Metode analisis

Pembebanan mengikuti SNI 1727:2020 dan beban gempa SNI 1726:2019. Parameter seismik kota Samarinda $S_s = 0,1132$ g dan $S_1 = 0,0940$ g menghasilkan $SDS = 0,1207$ g dan $SD1 = 0,1505$ g (kelas situs SD), dengan $R = 8$, $\Omega_0 = 3$, dan $C_d = 5,5$ untuk SRPMK. Kriteria penapisan mengikuti SNI 1726:2019: ketidakberaturan torsi tipe 1a jika rasio simpangan antar tingkat maksimum terhadap rata-rata melebihi 1,2 (tipe 1b jika melebihi 1,4); diskontinuitas diafragma jika bukaan melebihi 50% luas diafragma bruto; soft story jika kekakuan lateral suatu tingkat kurang dari 70% tingkat di atasnya atau 80% rata-rata tiga tingkat di atasnya; dan ketidakberaturan massa jika massa efektif suatu tingkat melebihi 150% massa tingkat di dekatnya.

Bila ketidakberaturan torsi terdeteksi pada kategori desain seismik D, momen torsi tak terduga diperbesar dengan faktor:

$$A_x = \left(\frac{\delta_{\text{maks}}}{1,2 \delta_{\text{avg}}} \right)^2 \quad (1)$$

Kontrol stabilitas P-Delta dievaluasi melalui koefisien stabilitas:

$$\theta = \frac{P_x \Delta I_e}{V_x h_{sx} C_d} \quad (2)$$

dengan batas maksimum:

$$\theta_{\text{maks}} = \frac{0,5}{\beta C_d} \leq 0,25 \quad (3)$$

Simpangan antar tingkat dihitung dengan:

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{ex}}{I_e} \quad (4)$$

dengan P_x beban vertikal total, Δ simpangan antar tingkat, V_x gaya geser tingkat, h_{sx} tinggi tingkat, C_d faktor pembesaran defleksi, β rasio kebutuhan geser, δ_{ex} simpangan elastis hasil analisis, dan I_e faktor keutamaan gempa. Simpangan izin untuk Kategori Risiko IV adalah $0,01 \cdot h_{sx}$. Seluruh pemodelan dan analisis dilakukan dengan ETABS v.20.0.0.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Partisipasi massa ragam

Analisis ragam memenuhi syarat SNI 1726:2019 Pasal 7.9.1.1, dengan partisipasi massa kumulatif mencapai 100% pada ragam ke-13 (>90% pada kedua arah ortogonal). Dengan demikian, analisis respons spektrum dinyatakan sah sebagai dasar evaluasi berikutnya.

Ketidakteraturan torsi

Rasio simpangan antar tingkat maksimum terhadap rata-rata ($\Delta_{\text{maks}}/\Delta_{\text{avg}}$) per lantai disajikan pada Tabel 1. Pada lantai 1, rasio mencapai 1,246 (arah X) dan 1,215 (arah Y), keduanya melebihi 1,2 sehingga tergolong ketidakberaturan torsi tipe 1a; lantai 2-4 tidak mengalami torsi.

Tabel 1. Rasio Δ maks/ Δ avg dan klasifikasi torsi

Lantai	Arah X	Ket.	Arah Y	Ket.
4	1,076	OK	1,166	OK
3	1,109	OK	1,117	OK
2	1,157	OK	1,136	OK
1	1,246	Torsi 1a	1,215	Torsi 1a

Sumber: Hasil analisis, 2025

Karena struktur masuk Kategori Desain Seismik D dan mengalami torsi 1a, momen torsi tak terduga diperbesar dengan faktor A_x sesuai Persamaan (1). Konsekuensi pembesaran ini diterapkan pada eksentrisitas perpindahan pusat massa di tiap lantai untuk kedua arah pada analisis lanjutan.

Diskontinuitas diafragma

Pengecekan menunjukkan luas bukaan (70 m^2) tidak melebihi 50% luas diafragma bruto (148 m^2), sehingga struktur bebas dari ketidakberaturan diskontinuitas diafragma. Diafragma tiap lantai bekerja utuh sebagai elemen pengaku horizontal.

Soft story

Kekakuan lateral tiap tingkat (Tabel 2) tidak ada yang kurang dari 70% kekakuan tingkat di atasnya maupun 80% rata-rata tiga tingkat di atasnya. Sebagai contoh, kekakuan lantai 1 ($3.234.607,9 \text{ kN/m}$) jauh melampaui 70% kekakuan lantai 2 maupun 80% rata-rata lantai di atasnya, sehingga struktur bebas dari ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak.

Tabel 2. Kekakuan lateral tiap tingkat

Lantai	Kekakuan arah X (kN/m)	Kekakuan arah Y (kN/m)	Ket.
4	228.887,7	238.066,3	OK
3	343.510,4	356.050,5	OK
2	413.907,9	417.654,7	OK
1	3.234.607,9	3.100.182,6	OK

Sumber: Hasil analisis, 2025

Ketidakteraturan massa dan geometri vertikal

Evaluasi massa tiap lantai (Tabel 3) menunjukkan ketidakberaturan massa pada lantai 3 dan 4, karena massa efektifnya melebihi 150% massa tingkat di dekatnya. Adapun ketidakberaturan geometri vertikal tidak terjadi, karena dimensi kolom seragam dari lantai dasar hingga atas sehingga dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik tidak berubah lebih dari 130% antartingkat.

Tabel 3. Massa tiap lantai dan klasifikasi

Lantai	Massa (kg)	Ket.
4	675.885,8	Tidak beraturan (V.2)
3	1.512.329,6	Tidak beraturan (V.2)
2	1.501.191,3	OK
1	1.292.757,9	OK

Sumber: Hasil analisis, 2025

Kombinasi ketidakberaturan torsi 1a dan ketidakberaturan massa membawa konsekuensi metodologis penting: berdasarkan SNI 1726:2019 Tabel 16, struktur tidak boleh dievaluasi dengan analisis gaya lateral ekuivalen tunggal dan harus menggunakan

analisis dinamik (respons spektrum atau riwayat waktu). Temuan ini memvalidasi pilihan metode respons spektrum pada penelitian ini.

Kontrol P-Delta

Koefisien stabilitas θ pada seluruh tingkat (Tabel 4) jauh lebih kecil dari batas maksimum $\theta_{maks} = 0,0909$, sehingga efek P-Delta dapat diabaikan dan struktur dinyatakan stabil terhadap efek orde kedua.

Tabel 4. Koefisien stabilitas P-Delta

Lantai	θ arah X	θ arah Y	θ_{maks}	Ket.
4	0,0015	0,0014	0,0909	OK
3	0,0045	0,0042	0,0909	OK
2	0,0065	0,0064	0,0909	OK
1	0,0012	0,0012	0,0909	OK

Sumber: Hasil analisis, 2025

Hubungan koefisien stabilitas terhadap tinggi tingkat untuk kedua arah ditampilkan pada Gambar 1, yang memperlihatkan seluruh nilai berada jauh di kiri batas pengaruh P-Delta maupun batas stabilitas struktur.

Simpangan antar tingkat

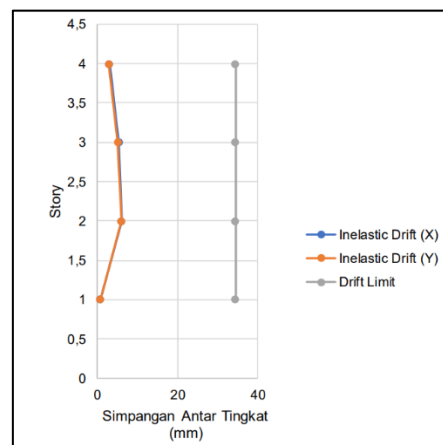
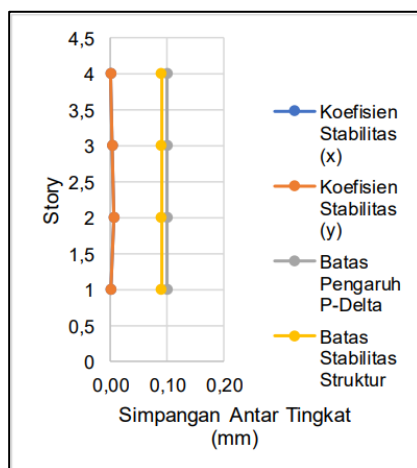
Simpangan antar tingkat inelastik tiap lantai (Tabel 5) seluruhnya berada di bawah batas izin Kategori Risiko IV sebesar $0,01 \cdot h_{sx} = 34,615$ mm (untuk tinggi tingkat 4.500 mm dengan Cd/Ie). Dengan demikian, struktur memenuhi persyaratan kekakuan lateral.

Tabel 5. Simpangan antar tingkat inelastik

Lantai	ΔX (mm)	ΔY (mm)	Batas (mm)	Ket.
4	3,113	2,882	34,615	OK
3	5,506	5,181	34,615	OK
2	6,166	6,078	34,615	OK
1	0,814	0,842	34,615	OK

Sumber: Hasil analisis, 2025

Profil simpangan antar tingkat inelastik sepanjang ketinggian bangunan untuk kedua arah disajikan pada Gambar 2, yang menunjukkan seluruh nilai berada di dalam batas izin $0,01 \cdot h_{sx}$.



Gambar 1. Kurva Koefisien Stabilitas P-Delta Arah X dan Y Gambar 2. Grafik Simpangan Antar Lantai

Pembahasan terpadu

Hasil penapisan menunjukkan profil konfigurasi yang khas: struktur memenuhi semua kontrol stabilitas (P-Delta dan drift jauh di bawah batas), tetapi memiliki dua ketidakberaturan—torsi 1a pada lantai 1 dan massa pada lantai atas. Torsi 1a yang muncul hanya di lantai dasar mengindikasikan distribusi kekakuan lateral yang kurang simetris pada tingkat tersebut, lazim terjadi akibat tata letak dinding atau bukaan. Ketidakberaturan massa pada lantai 3 dan 4 berkaitan dengan perbedaan fungsi dan beban antarlantai. Meskipun demikian, karena seluruh kontrol stabilitas terpenuhi, ketidakberaturan tersebut tidak sampai mengancam kestabilan global; pengaruhnya terutama menuntut perlakuan analitis yang lebih teliti, yakni keharusan analisis dinamik dan pembesaran momen torsi. Temuan ini sejalan dengan prinsip mapan bahwa keberadaan ketidakberaturan tidak otomatis berarti tidak aman, melainkan menuntut prosedur evaluasi yang sesuai (Simbolon dkk., 2023).

KESIMPULAN

Gedung SMA Negeri 14 Samarinda memiliki ketidakberaturan torsi tipe 1a pada lantai 1 (rasio 1,246 arah X dan 1,215 arah Y) dan ketidakberaturan massa pada lantai 3 dan 4, namun bebas dari diskontinuitas diafragma, soft story, dan ketidakberaturan geometri vertikal. Kombinasi ketidakberaturan tersebut mengharuskan penggunaan analisis dinamik sesuai SNI 1726:2019 Tabel 16. Dari sisi stabilitas, koefisien P-Delta jauh di bawah batas maksimum dan simpangan antar tingkat berada dalam batas izin Kategori Risiko IV, sehingga struktur dinyatakan stabil. Penelitian menegaskan pentingnya penapisan ketidakberaturan menyeluruh pada gedung pendidikan sebagai dasar pemilihan metode analisis. Penelitian lanjutan disarankan mengaitkan hasil penapisan ini dengan kinerja inelastik melalui analisis pushover atau riwayat waktu pada model yang sama.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Afiah, I. N., Ashad, H., & Rahman, M. J. (2023). Evaluasi kinerja struktur beton bertulang dengan pushover analysis berdasarkan ATC-40, FEMA 356 dan FEMA 440. *Jurnal Flyover*, 2(2), 99–110. <https://doi.org/10.52103/jfo.v2i2.1347>
- [2] Kuria, K. K., & Kegyes-Brassai, O. K. (2024). Pushover analysis in seismic engineering: A detailed chronology and review of techniques for structural assessment. *Applied Sciences*, 14(1), 151. <https://doi.org/10.3390/app14010151>
- [3] Santos, D., Melo, J., & Varum, H. (2024). Comparative analysis of the impact of vertical irregularities on reinforced concrete moment-resisting frame structures according to Eurocode 8. *Buildings*, 14(9), 2982. <https://doi.org/10.3390/buildings14092982>
- [4] Simbolon, S. C. R., Tampubolon, S. P., & Mulyani, A. S. (2023). Performance analysis of horizontal irregular buildings based on response spectrum and time history method. *Jurnal PenSil*, 12(3), 363–374.
- [5] Sudarsana, I. K., Susila, I. G. A., Widiantara, I. W. P., & Wiryadi, I. G. G. (2023). Evaluasi kinerja struktur gedung berdasarkan metode spektrum kapasitas (ATC-40) dan target perpindahan modifikasi (FEMA 440). *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 27(1), 1–10.
- [6] Sutjipto, S., & Sumeru, I. (2021). Anomaly Phenomena on the New Indonesian Seismic Code SNI 1726:2019 Design Response Spectra.

- [7] Taufik, I., Yadi, S., & Astuti, P. (2022). Respons ketidakberaturan struktur torsi dan torsi berlebih gedung 16 lantai menggunakan metode linear time history analysis. *Konstruksia*, 13(1), 181–191. <https://doi.org/10.24853/jk.13.1.181-191>
- [8] Tomer, S., & Bhandari, M. (2023). Evaluation of seismic response of irregular buildings: A review. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1110, 012012. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1110/1/012012>
- [9] Ujwal, M. S., Kumar, G. S., Sathvik, S., & Ramaraju, H. K. (2024). Effect of soft story conditions on the seismic performance of tall concrete structures. *Asian Journal of Civil Engineering*, 25(3), 3141–3149. <https://doi.org/10.1007/s42107-023-00968-9>
- [10] **Standar dan pedoman teknis (dikecualikan dari proporsi pustaka primer):**
- [11] Badan Standardisasi Nasional. (2019). *SNI 1726:2019 Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung*. BSN.
- [12] Badan Standardisasi Nasional. (2019). *SNI 2847:2019 Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung*. BSN.
- [13] Badan Standardisasi Nasional. (2020). *SNI 1727:2020 Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain*. BSN.

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN